4E

УДК 004.93

А.А. Егоров
Днепропетровский национальный университет, г. Днепропетровск, Украина
egorov@mayak.dp.ua

Метод адаптивного контрастирования мультиспектральных изображений для повышения достоверности нечеткой кластеризации

В статье предложен метод адаптивного повышения контраста мультиспектральных изображений, применение которого позволяет повысить достоверность нечеткой кластеризации в случае разбиения на малое число классов, характерном при решении задач автоматизированного распознавания символов. Представлены экспериментальные результаты применения предложенного метода для обработки RGB снимков железнодорожных вагонов.

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач является автоматизированное распознавание символов, например, номеров железнодорожных вагонов, контейнеров, автомобилей и т.п. Необходимость таких систем обусловлена сложностью «ручного» визуального контроля оператором за процессом перевозки грузов, проездом автотранспорта и т.п. в условиях высокой плотности транспортного потока, в то время как автоматизированные системы могут легко справиться с этой задачей в режиме реального времени.

Однако существует ряд факторов, усложняющих создание таких систем. Среди них можно выделить: возможность нефиксированного положения распознаваемых символов, их различный размер и цвет в пределах одного изображения; наличие помех, мешающих выделению символов на изображении (например, цемент, просыпанный на номер вагона и т.п.), расположение их на плохо освещенной при съемке части объекта.

Постановка задачи

Важным этапом в решении задачи распознавания символов является бинаризация исходного мультиспектрального изображения. Бинаризация предполагает проведение сегментации изображения, в процессе которой его необходимо разделить на 2 кластера, к которым будут относиться символы и фон соответственно. Однако в случае распознавания номеров железнодорожных вагонов следует учитывать, что кроме основного номера на вагоне может располагаться еще и контрольный номер, нанесенный существенно меньшим шрифтом и расположенный в его нижней части, причем его цвет может отличаться от цвета основного номера. Таким образом, в пределах одного изображения символы, требующие распознавания, могут быть изображены существенно отличающимися друг от друга цветами. Ситуация может осложняться неоднородностью освещения при съемке вагона, что приводит к изменению цвета как в пределах одной последовательности символов (номера), так и в пределах одного

символа. Следовательно, для повышения чувствительности возникает необходимость осуществления кластеризации исходного изображения с разбиением на 3 кластера.

Применение нечеткой кластеризации непосредственно к исходному изображению не позволяет получить удовлетворительных результатов в случае наличия помех и низкоконтрастных участков из-за малого числа используемых кластеров, поэтому возникает необходимость применения методов повышения контраста и фильтрации.

Большинство существующих методов повышения контраста и фильтрации [1], [2] либо не справляются с поставленной задачей, либо требуют «ручную» подстройку управляющих параметров метода под конкретное изображение, что в случае автоматизированной обработки в режиме реального времени не представляется возможным.

Целью данной статьи является разработка метода адаптивного контрастирования мультиспектрального изображения для повышения достоверности его последующей нечеткой кластеризации.

Решение задачи

Сложность решения поставленной задачи заключается в том, что обработка изображений производится автоматизированно, что требует минимизации количества управляющих параметров. Кроме того, в пределах одного изображения могут содержаться фрагменты, очень различные по своим характеристикам: высоко- и низкоконтрастные области, которые могут содержать или не содержать помехи. При этом все перечисленные особенности изображения используемый метод обработки должен учитывать.

Предложенный метод повышения контраста предполагает адаптивную обработку изображения, которое разбивается на неперекрывающиеся окна, и включает в себя 3 основных этапа, направленные, с одной стороны, на повышение контраста и устранение помех на определенных участках исходного изображения, а с другой стороны – на сохранение уровня интенсивности высококонтрастных его фрагментов.

1. Исходное трехдиапазонное изображение, значения цветов которого находятся на отрезке [0..1], преобразуется в полутоновое, причем для текущего окна выполняется следующее преобразование:

$$W^1_{x,y} = \left(\sum_{i=1}^{3} (W_{x,y})_i^{\frac{1}{mn_v_i}} \right)^{(0.5 - im_p + mn_p)}, \qquad (1)$$

где $(W_{x,y})_i$ – пиксель с координатами x, y текущего окна одного из трех диапазонов исходного изображения; $W^1_{x,y}$ – пиксель с координатами x, y текущего окна выходного полутонового изображения; mn_v – вектор значений, получаемый на основе вычислений среднего значения интенсивности по каждому из трех диапазонов текущего окна исходного изображения; im_p вычисляется по формуле

$$im_p = mn_im_v^{(1 - mn_im_v)}, \qquad (2)$$

где mn_im_v – среднее значение, вычисляемое для вектора средних значений интенсивностей по каждому из трех диапазонов исходного изображения в целом. Аналогично вычисляется и значение mn_p:

$$mn_p = mn_v_v^{(1 - mn_v_v)}, \qquad (3)$$

где mn_v_v – среднее значение вектора mn_v.

2. Производится повышение контраста, полученного на предыдущем этапе полутонового изображения, состоящее также из трех шагов:

а) На первом шаге каждое окно входного для этого шага изображения подвергается следующему преобразованию:

$$W^2_{x,y} = (W^1_{x,y})^{\left(1-k*W^1_{x,y}\right)}, \quad (4)$$

где $W^2_{x,y}$ – пиксель с координатами x, y текущего окна выходного изображения первого шага второго этапа; k – коэффициент, который вычисляется на основе статистических характеристик текущего окна входного для этого этапа изображения по следующей формуле:

$$k = 10^{\left(\lg(C)+W^1_{x,y}-mn_w\right)}, \quad (5)$$

где mn_w – среднее значение интенсивности пикселей текущего окна, входного изображения для очередного шага второго этапа, а C вычисляется следующим образом:

$$C = \left(1 - mn_w\right)^{\left(1-mn_w\right)}. \quad (6)$$

б) В результате выполнения преобразования (4) для каждого пикселя текущего окна происходит сдвиг уровня яркости к значениям 1 либо 0 в зависимости от коэффициента k, который вычисляется на основе интенсивности пикселя и среднего значения интенсивности окна. Однако возможны ситуации, когда это преобразование приводит к чрезмерному сдвигу яркости пикселя. Для компенсации возможного негативного влияния преобразования (4) и предназначен второй шаг, который заключается в применении следующего преобразования к текущему окну изображения:

$$W^3_{x,y} = \left(W^2_{x,y}\right)^P \quad , \quad (7)$$

где $W^3_{x,y}$ – пиксель с координатами x, y текущего окна выходного изображения второго шага второго этапа; P – значение, которое вычисляется на основе статистических характеристик текущего окна входного для этого этапа изображения:

$$P = P_1^{P_1}, \quad (8)$$

где значение P_1 вычисляется следующим образом:

$$P_1 = \left|C^C + S*\left(mn_w^{mn_w} - 0.5*max_w\right)\right|, \quad (9)$$

где C вычисляется по формуле (6), max_w – максимальное значение интенсивности пикселей текущего окна, входного изображения для этого шага второго этапа, а S вычисляется по формуле

$$S = sign\left(mn_w - 0.5*max_w\right). \quad (10)$$

в) Последний шаг второго этапа позволяет осуществить управляемую коррекцию яркости полученного изображения с использованием статистических характеристик текущего окна и всего изображения в целом, для осуществления которой текущее окно подвергается такому преобразованию:

$$W^4_{x,y} = \left(W^3_{x,y}\right)^{\left(P_a+mn_w^{mn_w}\right)}, \quad (11)$$

где $W^4_{x,y}$ – пиксель с координатами x, y текущего окна выходного изображения последнего шага второго этапа; P_a вычисляется по следующей формуле:

$$P_a = (1 - mn_im)^{mn_im} + P_ADD, \tag{12}$$

где mn_im – среднее значение яркости по всему полутоновому изображению; P_ADD – выбираемое эмпирически значение, позволяющее управлять уровнем яркости получаемого изображения.

3. Осуществляется повышение контраста, полученного на предыдущем этапе изображения путем преобразований гистограммы для текущего окна:

$$hist^1_i = \frac{(hist_i - min_1) * (max_1 - min_1)}{max_0 - min_0} + min_1, \tag{13}$$

где $hist$ – вектор значений гистограммы текущего окна изображения, состоящий из 256 элементов; $hist^1$ – новый вектор значений гистограммы обрабатываемого окна; max_0, min_0 – максимальное и минимальное значения интенсивностей, присутствующих в обрабатываемом окне соответственно; max_1, min_1 – новые значения для максимальной и минимальной интенсивности окна, которые вычисляются с использованием статистических характеристик его гистограммы:

$$min_1 = min_0{}^{-min_0} * (1 - d), \tag{14}$$

где d – доля ненулевых интенсивностей в текущем окне. При этом если выполняется условие $0.5 \le min_1 < 1$, то значение min_1 корректируется:

$$min_1 = min_1{}^{-\left((1-min_1)^{min_1}\right)}. \tag{15}$$

Значение max_1 определяется следующим образом:

$$max_1 = \frac{max_0{}^{\left(1 - \frac{max_0 - mn_h}{max(mn_h, 1 - mn_h)}\right)}}{1 - d}, \tag{16}$$

где mn_h среднее значение для вектора $hist^1$. Если $max_1 \le 0.5$, то значение max_1 корректируется по формуле

$$max_1 = max_1^{(1 - max_1)}, \tag{17}$$

в противном случае, если выполняется условие $mn_h > 0.5$, то значение max_1 изменяется следующим образом:

$$max_1 = max_1^{-(1 - max_1 + mn_h)}. \tag{18}$$

Следует отметить, что полученные значения min_1 и max_1 всегда удовлетворяют следующим условиям: $0 \le min_1 \le min_0$ и $max_0 \le max_1 \le 1$. Таким образом, преобразование (13) осуществляет масштабированное расширение исходных значений гистограммы текущего окна. К полученному вектору $hist^1$ применяется следующее преобразование:

$$hist^2_i = \left(hist^1_i\right)^{\left(1 - hk * hist^1_i\right)}, \tag{19}$$

где hist^2 – вектор значений гистограммы текущего окна выходного изображения; hk – коэффициент, вычисляемый на основе статистических характеристик вектора hist^1 по формуле:

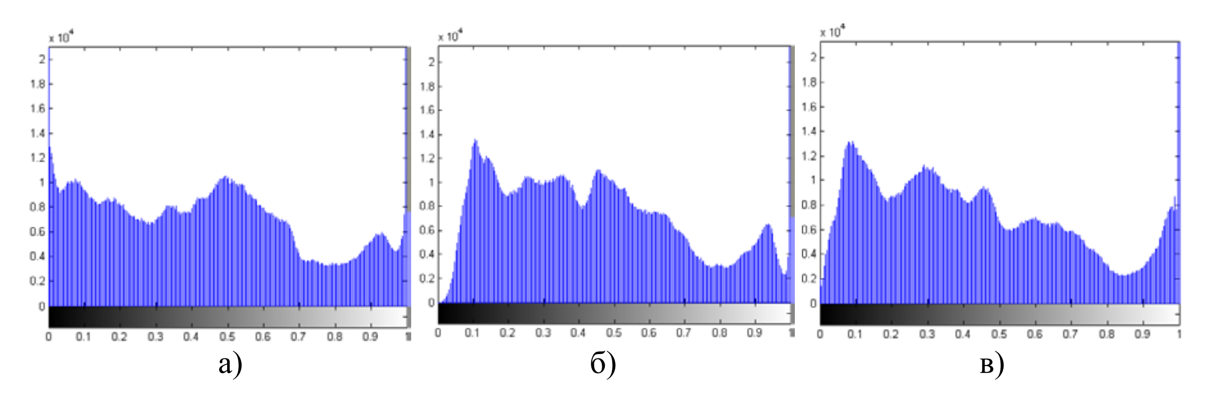
$$\text{hk} = \frac{\text{hist}_i^1 - \text{mn_h}}{\max(\text{mn_h}, 1 - \text{mn_h})} \tag{20}$$

После этого все интенсивности текущего окна меняются на соответствующие им интенсивности, содержащиеся в векторе hist^2, в результате чего и формируется выходное изображение.

Экспериментальные результаты были получены на примере обработки трехдиапазонных (RGB) снимков железнодорожных вагонов размерностью 1600 × 1200 пикселей, пример которого представлен на рис. 1. На этом изображении основной номер изображается черным цветом, а вспомогательный номер, находящийся на низко контрастном фрагменте снимка (левый нижний угол) – белым. На рис. 2 представлены гистограммы каждой из цветовых составляющих исходного изображения.



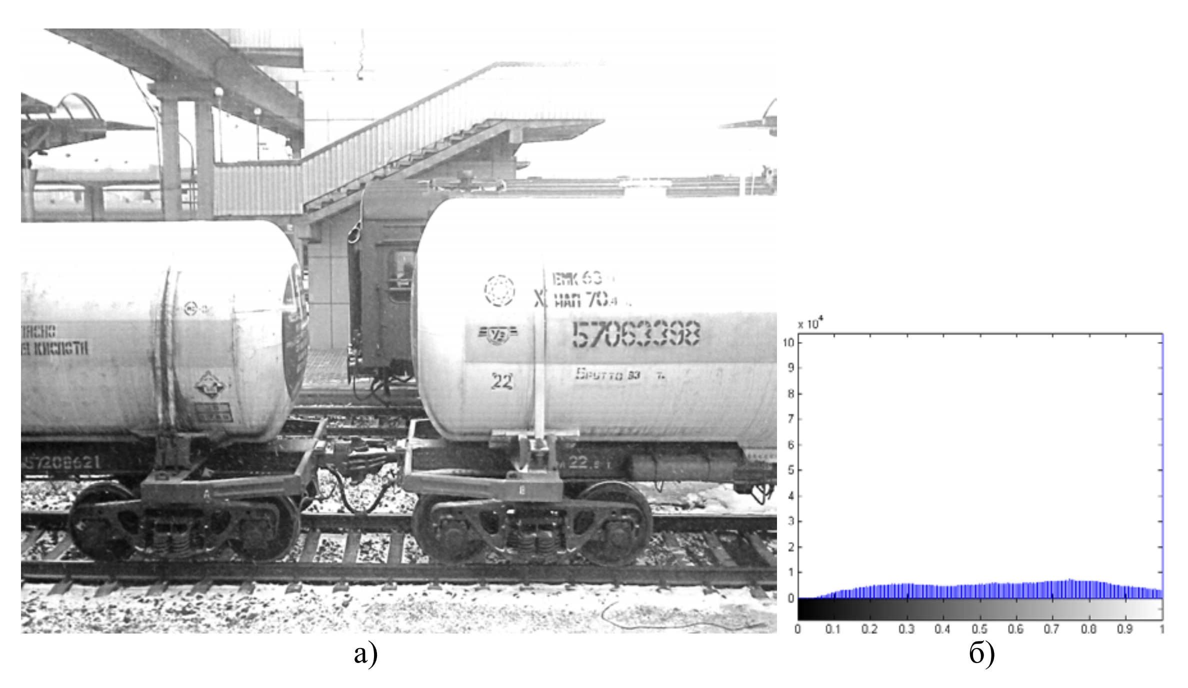
Рисунок 1 – Исходное RGB изображение



а) б) в)

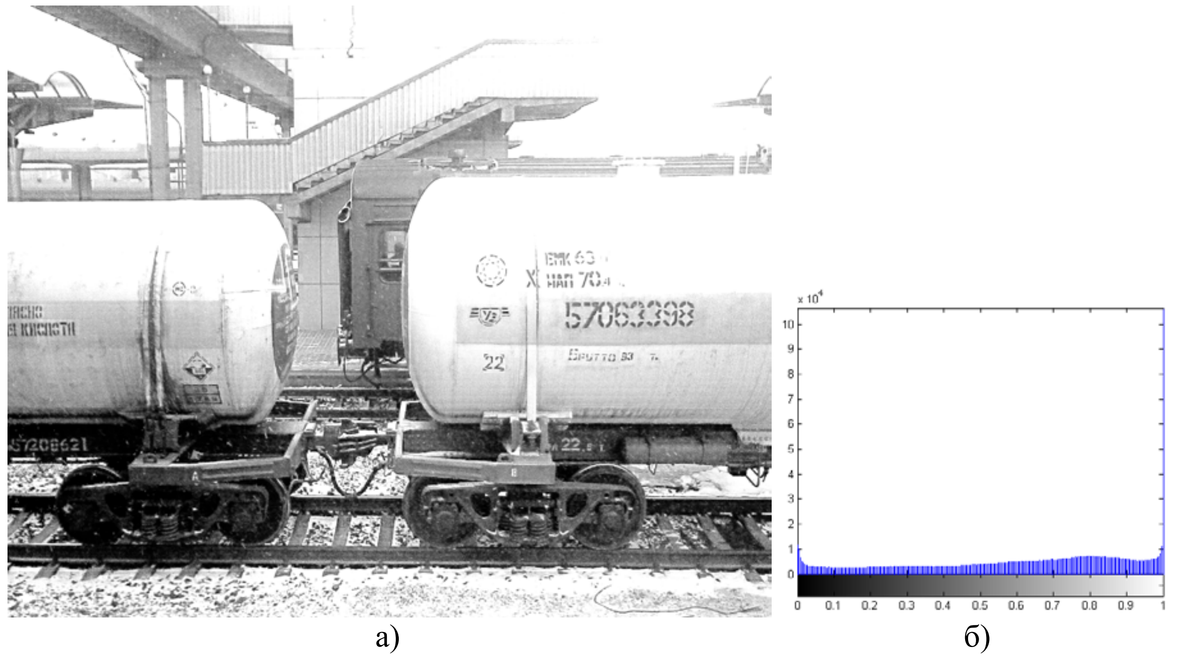
Рисунок 2 – Гистограммы цветовых составляющих исходного RGB изображения

При применении предложенного метода для повышения контраста исходного снимка размеры окон для каждого этапа были выбраны 15×15, 3×3 и 9×9 пикселей, соответственно, а параметр $P_ADD = -0.05$. Изображения, полученные после каждого этапа обработки исходного снимка, и их гистограммы представлены на рис. 3 – 5 соответственно.



а) б)

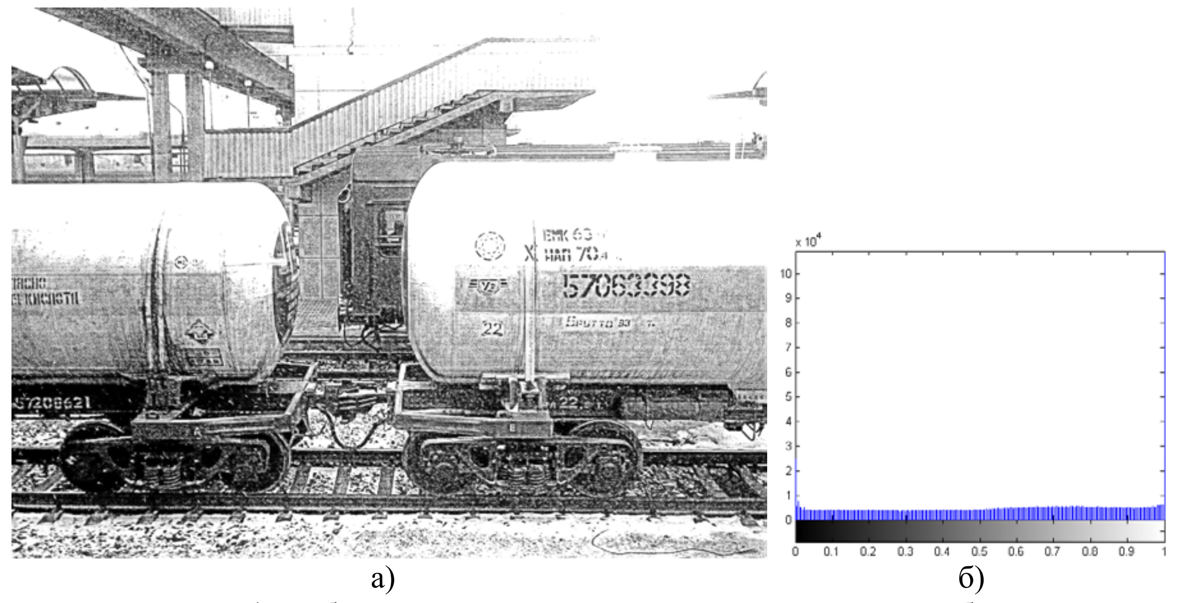
Рисунок 3 – а) полутоновое изображение, полученное после применения преобразований 1-го этапа предложенного метода; б) его гистограмма



а) б)

Рисунок 4 – а) изображение, полученное после применения преобразований 2-го этапа предложенного метода; б) его гистограмма

Нечеткая кластеризация полученного в результате повышения контраста изображения производилась методом гибридной кластеризации SOM-FCM, описанным в работе [3], результаты которой представлены на рис. 6. Изображение разделялось на 3 нечетких кластера, максимальное количество итераций = 2, параметры $m = 2$, пороговое значение $\varepsilon = 10^{-4}$. В процессе кластеризации производилось двукратное увеличение числа кластеров перед применением SOM, после использования карты Кохонена выбирались 3 кластера с максимальным количеством относящихся к ним (имеющим минимальное евклидово расстояние) пикселей [4].



а) б)

Рисунок 5 – а) изображение, полученное после применения преобразований 3-го этапа предложенного метода; б) его гистограмма

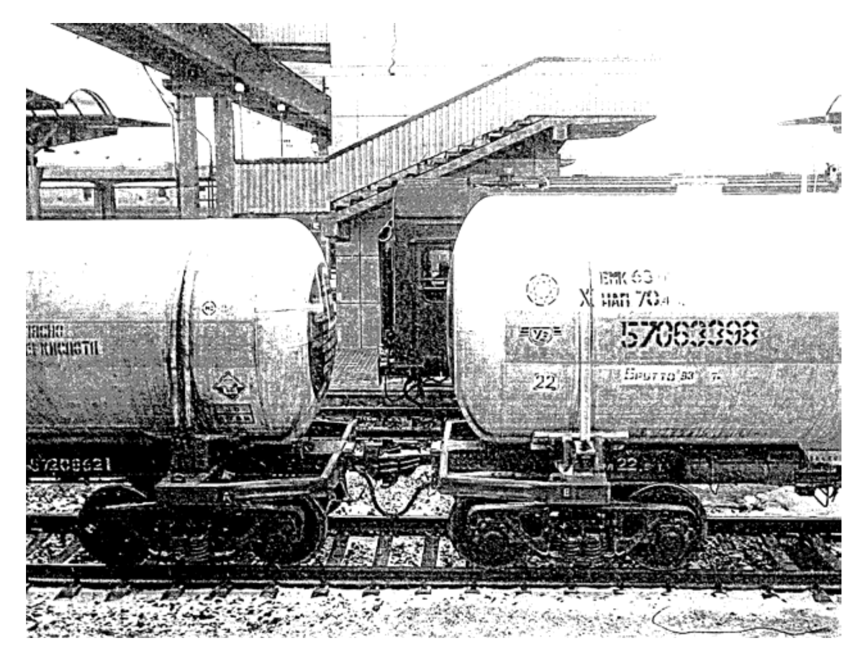


Рисунок 6 – Результаты нечеткой кластеризации

Применим предложенный метод и в случае обработки RGB изображений, содержащих помехи, искажающие распознаваемые символы, то есть так называемые «загрязненные» номера. Пример такого снимка железнодорожного вагона представлен на рис. 7. Три символа основного номера на этом изображении частично не видны, остальные же символы видны не отчетливо из-за того, что сливаются с фоном, цвет которого искажен просыпанным цементом. На рис. 8 представлены результаты нечеткой кластеризации изображения, полученного после применения предложенного метода с использованием вышеперечисленных управляющих параметров к исходному снимку. Очевидно, что уменьшение количества используемых цветов не привело к потере информативности при представлении символов номера по сравнению с исходным изображением.

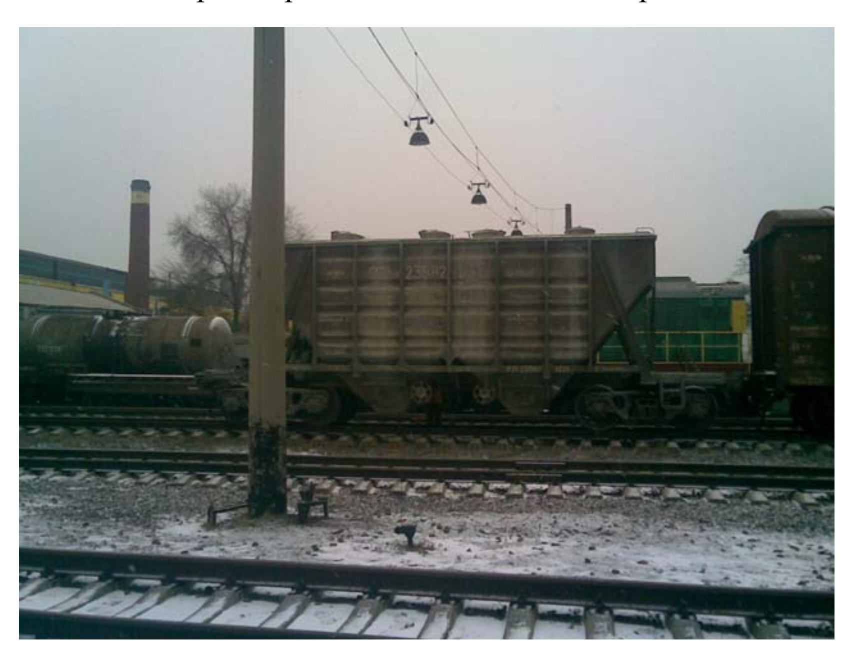


Рисунок 7 – Исходное RGB изображение, содержащее «загрязненный номер»

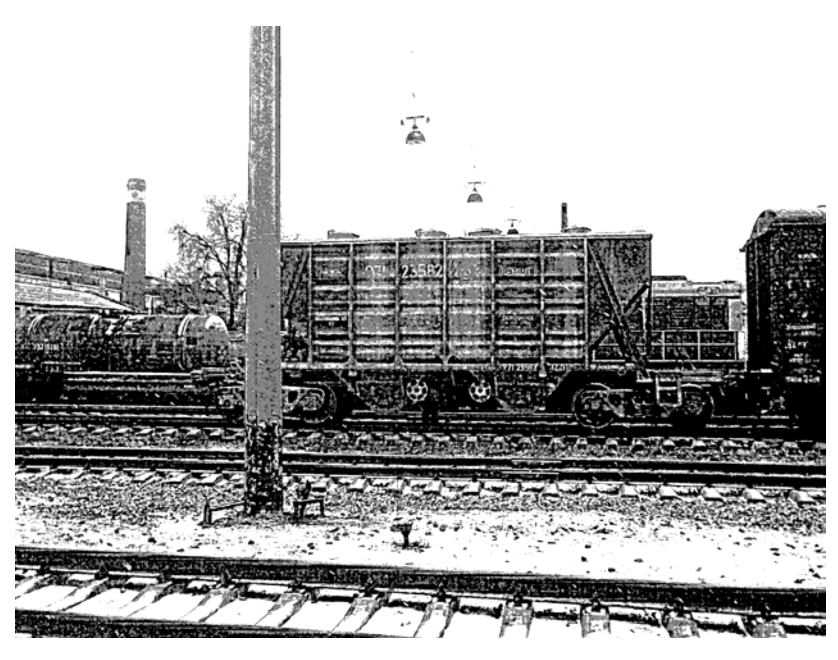


Рисунок 8 – Результаты нечеткой кластеризации

Выводы

Предложенный адаптивный метод повышения контраста мультиспектральных изображений предназначен для получения нового пространства признаков (полутонового изображения) благодаря применению описанных выше оконных преобразований, направленных на улучшение разделения между яркостями символов и фона, что позволяет существенно повысить достоверность нечеткой кластеризации при использовании малого числа кластеров.

К достоинствам предложенного подхода кроме его адаптивности, благодаря которой происходит выделение вспомогательных номеров на рассмотренных снимках железнодорожных вагонов, можно отнести относительно малое число независящих друг от друга управляющих параметров, выбор которых осуществляется при первоначальной настройке на обрабатываемые изображения и не требует дальнейшего изменения.

Литература

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Т. 1 – 310 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М: Техносфера, 2005. – 1070 с.
3. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Сегментация низко контрастных изображений алгоритмом гибридной кластеризации SOM-FCM // Системні технології. – 2008 – № 1. – С. 128-134.
4. Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Использование расстояний в N-мерном пространстве для повышения достоверности в модифицированном алгоритме нечеткой кластеризации // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – Луцьк. – 2008. – № 22, Ч. 1. – С. 16-20.

А.А. Єгоров

Метод адаптивного контрастування мультиспектральних зображень для підвищення достовірності нечіткої кластеризації

У статті запропонований метод адаптивного підвищення контрасту мультиспектральних зображень, застосування якого дозволяє підвищити вірогідність нечіткої кластеризації у випадку розбиття на мале число класів, характерному при розв'язанні задач автоматизованого розпізнавання символів. Представлені експериментальні результати застосування запропонованого методу для обробки RGB знімків залізничних вагонів.

Статья поступила в редакцию 24.06.2008.